

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН

Шишкин М.С., Мительман Ю.Е.

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
Екатеринбург, Россия

mikhail.shishkin@urfu.me, y.e.mitelman@urfu.ru

Аннотация. Цель работы – разработка программы для автоматизированного проектирования зеркальных антенн. Для расчета облучателей антенн используется метод моментов, встроенный в функционал Matlab, для расчета зеркальной антенны используется апертурный метод. Созданная программа по заданным пользователем данным строит эскиз облучателя и антенной системы, рассчитывает диаграммы направленности облучателя и антенны, распределение тока в апертуре антенны. Результаты расчетов проверены сравнением с характеристиками существующих антенн и достаточно точны.

Ключевые слова: параболическая зеркальная антенна, коэффициент направленного действия, диаграмма направленности, апертурный метод.

A PROGRAM FOR THE AUTOMATED DESIGN OF REFLECTOR ANTENNAS

Shishkin M., Mitelman Y.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal
University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg,
Russia

Abstract. The purpose of the work is to develop a program for the automated design of reflector antennas. The method of moments is used to calculate of the exciter radiation pattern, with using of Matlab Antenna Toolbox. The antenna characteristics is calculated using aperture distribution method. The designed program calculates the radiation patterns of exciter and antenna, and the current distribution in the antenna

aperture. The calculation results have been verified by comparison with the characteristics of existing antennas and are quite accurate.

Key words: parabolic reflector antenna, directivity, radiation pattern, geometrical optics, aperture distribution method.

1 ВВЕДЕНИЕ

Зеркальные антенны в настоящее время являются наиболее широко применяемым типом остронаправленных антенн. Их используют в радиорелейной связи, системах сотовой связи, телевидении, спутниковой связи и связи между космическими аппаратами. Данные антенны также используются для радиотелескопов и в качестве радиолокационных антенн.

Залогом успешной разработки любой антенны является ее проектирование на основе существующих методик расчетов и проверка ее характеристик с помощью программ для численного моделирования. Однако, большинство современных программных пакетов имеют очень высокую стоимость, кроме того, процесс создания самой модели антенны часто занимает достаточно большое количество времени.

В статье представлена разработанная программа для автоматизированного проектирования зеркальных антенн. Программа предназначена для быстрого расчета основных характеристик зеркальных параболических антенн, таких как коэффициент направленного действия (КНД), коэффициент использования поверхности (КИП), диаграмма направленности (ДН). Кроме того, разработанная программа позволяет рассчитывать характеристики облучателей, строить их конструкции и конструкции зеркал.

2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН

На основе обзора методов расчета зеркальных антенн, представленных в [1]–[3], был выбран апертурный метод, основанный на принципах геометрической оптики, совместно с использованием принципа замены интеграла суммированием. Метод не является строгим, так как распределение поверхностных токов определяется приближенно, однако позволяет достаточно точно оценить характеристики излучения антенны.

В качестве облучателей в программе используются рупорные антенны (конические или пирамидальные), вибраторы, помещенные над экраном (один линейный вибратор и два перпендикулярно расположенных вибратора) и спиральные антенны (рисунок 1). Расчет облучателей реализуется с помощью модуля *Antenna Toolbox* в *Matlab*, который позволяет рассчитать

характеристики антенн с любыми размерами, используя метод моментов. Однако, для удобства использования программы конечным пользователем, согласно методикам, приведенным в [4]–[9], для каждого облучателя определены оптимальные размеры, которые автоматически устанавливаются в зависимости от выбранной пользователем частоты.

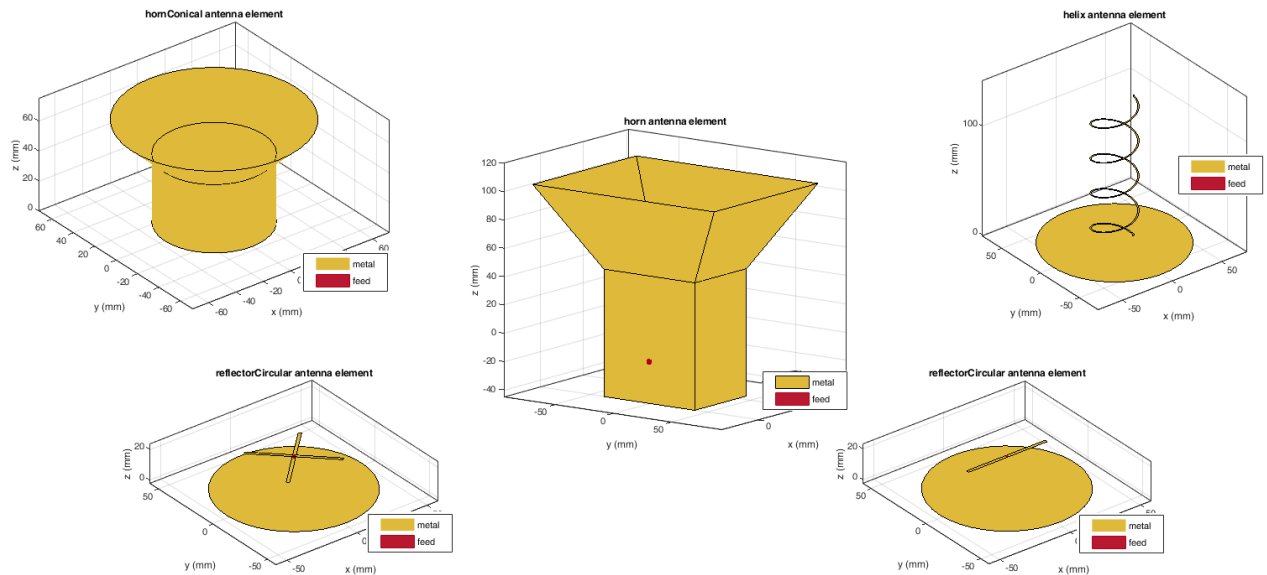


Рисунок 1 – Конструкции облучателей зеркальных антенн, применяемых в разработанной программе

Суть применяемого метода заключается в следующем: вся излучающая поверхность (апертура) разбивается на некоторое число точек, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, плоские координаты точек x_n и y_n в системе зеркала преобразуются в сферические координаты в системе облучателя и в каждой точке рассчитываются амплитуды зависящие от диаграммы направленности облучателя $F_{обл}$ и фокусного расстояния f :

$$E = \frac{\cos^2(\theta/2)}{f} \cdot F_{обл}(\theta, \varphi). \quad (1)$$

Далее считается диаграмма направленности зеркальной антенны по приведенной формуле:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{1 + \cos(\theta)}{2} \cdot \sum_{n=1}^N E_n \cdot e^{j\beta \cdot R_n \cdot \cos(\alpha)}, \quad (2)$$

где β – волновое число,

$R_n \cos(\alpha)$ – разность хода лучей в точку наблюдения, проведенных из начала координат и из точки x_n и y_n , определяемая формулой:

$$R_n \cdot \cos(\alpha) = \sin(\theta) \cdot \{x_n \cdot \cos(\varphi) + y_n \cdot \sin(\varphi)\}. \quad (3)$$

Преимущества предложенного метода в том, что программа позволяет задать раскрыв зеркала любых формы и размеров; алгоритм легко адаптируется для расчета других типов зеркальных антенн, например, двухзеркальных или антенны со смещенным рефлектором; время расчета диаграммы направленности антенны достаточно мало, даже при значительном отношении размера раскрыва к длине волны; количество точек в раскрыве зеркала можно регулировать, тем самым подбирая оптимальное соотношение точность/скорость расчета; применение модуля *Antenna Toolbox* позволяет достаточно точно рассчитать диаграмму направленности облучателя.

Для определения точности расчетов по предложенной методике были выполнены ряд тестов, где сравнивались параметры реальных антенн, представленные в [10]–[15], с рассчитанными. Результаты сравнения приведены в таблице.

Таблица – Результаты выполненных расчетов характеристик антенн

Антенна	Рассчитанный КНД, дБ	КНД реальной антенны, дБ	Рассчитанная ширина ДН, град.	Ширина ДН реальной антенны, град.
<i>CC12-WB4G</i>	22	22,5 ±0,5	11,16	11,5 ±0,5
<i>CP12-HP4G</i>	27,8	28,3 ±0,5	4,15	4,5 ±0,5
Кассегрена 4,8 м	43,4	44,2	1,05	1,04
Грегори 3,8 м	41,3	42,2	1,17	1,16
<i>GD25-24</i>	24,05	25	7,4×10,05	8×10
<i>QSD75</i>	38	38,5	2,35	2,3

Из таблицы видно, что расчеты характеристик антенн достаточно точны.

3 ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ

Главное окно разработанной программы показано на рисунке 2. В программе используются три основных меню: меню общих настроек, меню настроек облучателя и меню настроек антенны (рисунок 3). Функциональные кнопки используются для расчета конкретного параметра антенной системы. Результаты расчетов отображаются в окне отображения результатов. В меню общих настроек задается рабочая частота и единицы измерения размеров зеркал и облучателя, выбирается система координат для отображения плоских диаграмм направленности и масштаб их отображения. В меню настроек облучателя, выбирается тип облучателя и его размеры. В меню настроек антенны выбирается тип антенны (прямофокусная, со смещенным рефлектором,

двухзеркальная по схеме Кассегрена или по схеме Грегори) и форма основного зеркала (прямоугольник или эллипс), задаются размеры зеркал.

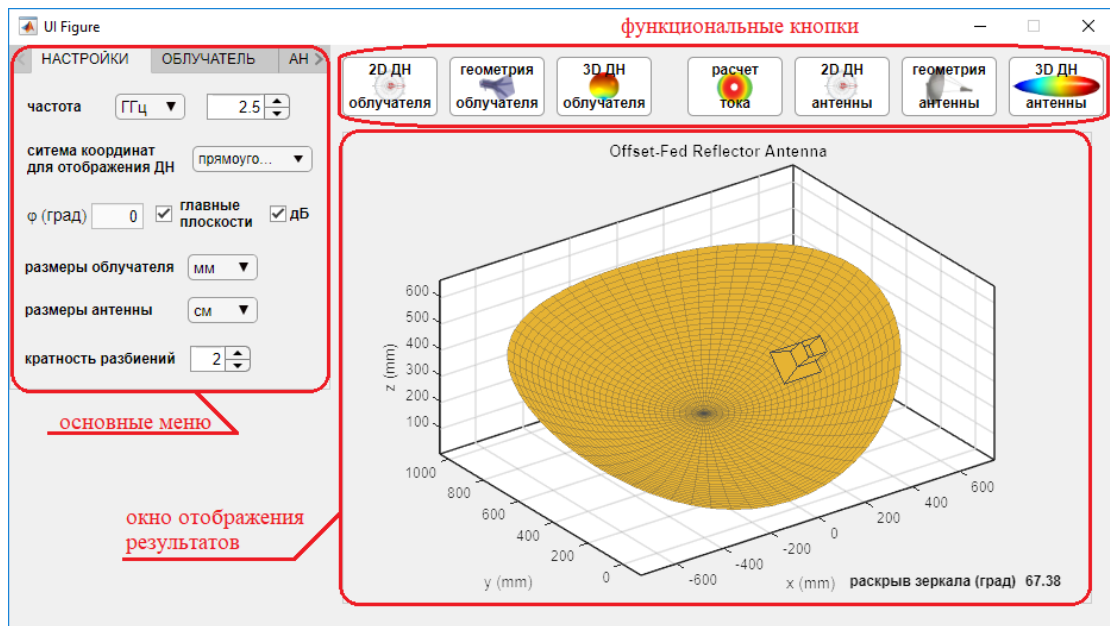


Рисунок 2 – Главное окно разработанной программы

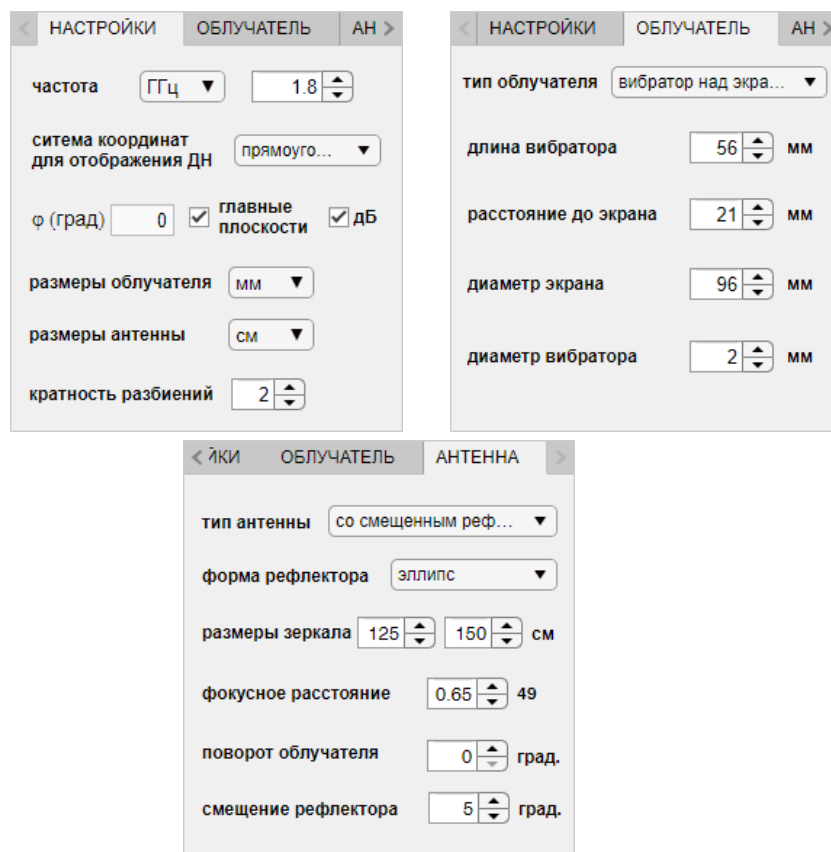


Рисунок 3 – Основные меню разработанной программы

Программа позволяет просматривать рассчитанные ДН как облучателя, так и самой антенны. Диаграммы направленности можно построить в прямоугольной или полярной системах координат, как в главных, так и в

произвольной плоскостях. Можно вывести объемные ДН совместно с антенной или отдельно от нее. На всех графиках можно устанавливать маркеры. Рассчитанные графики и эскизы антенн можно сохранить в стандартных форматах отображения рисунков. Реализована функция экспорта значений ДН в табличный формат.

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная программа предназначена для использования инженерами при проектировании и разработке антенн или студентами при курсовом или дипломном проектировании. Программа имеет простой, понятный и удобный интерфейс, а расчеты, выполняемые программой, достаточно точны. Преимущества разработанной программы:

- не требуется создавать конструкцию антенны вручную, программа позволяет получить ее по введенным пользователем размерам;
- большой выбор форм и размеров зеркал и облучателей;
- время расчетов характеристик антенн достаточно мало;
- возможность повышения точности расчетов.

Библиографический список

1. Вуд П. Анализ и проектирование зеркальных антенн: Пер. с англ. / П. Вуд – М.: Радио и связь, 1984. – 208 с.
2. Галимов Г. К. Общая теория зеркальных антенн. Том 6 / Г. К. Галимов – М.: ООО «Адвансед Солюшнз», 2017. – 704 с.
3. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов / Д. М. Сазонов – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.
4. Antenna toolbox. Getting started guide. MathWorks, Inc. 2020. – 182 с.
5. Antenna toolbox. Reference. MathWorks, Inc. 2020. – 1306 с.
6. Мительман Ю. Е. Проектирование высокочастотных устройств и антенных систем / Ю. Е. Мительман. – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – 59 с.
7. Филонов А. А., Устройства СВЧ и антенны: учебник / А. А. Филонов, А. Н. Фомин, Д. Д. Дмитриев, В. Н. Тяпкин, Ю. Л. Фатеев. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 492 с.
8. Гололобов Д. В. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: Метод. пособие для студ. спец. «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения». Ч.3: Антенны / Д. В. Гололобов, В. Б. Кирильчук, О. А. Юрцев. – Мн.: БГУИР, 2006. – 164 с.

9. Milligan, Thomas A. Modern antenna design / by Thomas A. Milligan. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. – 633 c.
10. VEGA very high gain antenna for cellular bands 690–960 MHz Model CC12-WB4G. Specification. COMARCOM.
11. VEGA very high gain antenna for cellular bands 1710–2170 MHz Model CP12-HP4G. Specification. COMARCOM.
12. Model 4.8m Cassegrain antenna. Technical specifications. General Dynamics SATCOM technologies, 2012.
- 3.8 M Earth station antenna / VSAT. Technical specifications. Comsat Systems, 2015.
13. Grid dish parabolic antenna GD25. Technical specifications. Laird, 2015.
14. QSD satellite dishes. Catalogue. Televes, 2015.